

## ビタミン・ミネラル代謝に及ぼす 持久性運動と食事及び加齢の影響

国立健康・栄養研究所所長 小林修平  
樋口 満  
井上喜久子  
石井 恵子  
村上 照美  
吉武 裕  
田畑 泉

### 研究目的：

ビタミンは微量で生体の代謝機能を円滑に進めるのに不可欠な栄養素である。とくに、エネルギー代謝レベルが高い持久性スポーツ選手にとっては、ビタミンB群、Cなど水溶性ビタミンが重要な役割をはたしており、最近では脂溶性のビタミンEが疲労回復との関連で注目されている。また、ミネラルの栄養状態の良否はスポーツ遂行能力と密接な関連がある。

本研究の目的は、エネルギー消費レベルを考慮しながら、ビタミン・ミネラルの栄養状態を血液生化学的パラメータを指標として明らかにすることである。

### 被検者と研究方法：

- (1) とくに日常規則的な運動を行っていない成人女性13名（一般人）、1週間に10km以上30km以下の持久性ランニングトレーニングを行っている女性6名（ジョガー）、及び100km/週以上のランニングトレーニングを行っている成人女性10名（ランナー）を対象とした。
- (2) 各被検者に対して身長・体重・皮脂厚の計測を行った。
- (3) 一般人とジョガーに対しては最大酸素摂取量（ $Vo_2\ max$ ）の測定を行った。ランナーについては試合の関係で実施できなかった。

(4) 各被検者に対して、早朝空腹時に採血をし、各種ビタミンの分析、及び鉄栄養状態の判定を行った。さらに、各種血中脂質についても分析した。

ビタミンA、Eの分析は高速液体クロマトグラフィー（HPLC）法、ビタミンB<sub>2</sub>の栄養状態は赤血球を用いたTDP効果による評価法、ビタミンB<sub>2</sub>については赤血球グルタチオン還元酵素のFAD効果によって栄養状態を判定した。ビタミンCはヒドラジン法によって測定した。

鉄栄養状態はヘマトクリット、ヘモグロビン、血清鉄、総鉄結合能、及び血清フェリチン濃度から判定した。測定は(株)SRLに委託して行った。血中脂質についても同様に委託した。

(5) 平日3日間の食事調査を実施し、各人の栄養摂取状態を評価した。

#### 統計処理：

各群間の有意差の検定はスチューデントのt-テストにて行い、P<0.05をもって有意とした。

#### 結果と考察：

表1に各グループの身体計測値、ランナーを除くVo<sub>2</sub>maxを示した。一般人と比べてジョガー、ランナーの体脂肪率は低く、とくにランナーでは著しく低い体脂肪率であった。ジョガーのVo<sub>2</sub>maxは一般人の値よりも25%高かった。ランナーのVo<sub>2</sub>maxは未測定であるが、トレーニング距離、競技記録から推定すると60ml/kg/min程度はあると思われる

表1 身体計測値、最大酸素摂取量 (Vo<sub>2</sub>max)

| グループ | N  | 年齢<br>(歳) | 身長<br>(cm) | 体重<br>(kg) | 皮脂厚<br>(mm) | 体脂肪率<br>(%) | Vo <sub>2</sub> max<br>(ml/kg/min) |
|------|----|-----------|------------|------------|-------------|-------------|------------------------------------|
| 一般人  | 13 | 25±1      | 159±4      | 52±5       | 34±5        | 23±3        | 39.8±1.9                           |
| ジョガー | 6  | 25±2      | 159±7      | 52±5       | 27±4*       | 20±2*       | 49.7±3.4*                          |
| ランナー | 10 | 21±2*     | 160±5      | 47±3*      | 15±2*\$     | 13±1*\$     | ----                               |

平均±SD. \*P<0.05 vs 一般人. \$P<0.05 vs ジョガー

表2に各グループのエネルギー源栄養素の摂取状況を示した。総エネルギー摂取量はランナーがジョガーよりもわずかに高い水準であり、一般人はランナー、ジョガーよりも低い値であった。「日本人の栄養所要量」によれば、一般人の生活活動強度は「I. 軽い」に分類されると考えられるので、一般人のエネルギー所要量は1800kcal/日であり、この値と比較すると一般人のエネルギー摂取量は妥当な水準であったといえる。また、ジョガーの生活活動強度はトレーニング量から推測すると「II. 中等度」である。20歳代女性のこの生活活動強度でのエネルギー所要量は2000kcal/日であるので、ジョガーのエネルギー摂取量も妥当な水準であったといえるだろう。ところが、ランナーとジョガーのトレーニング量は明らかに異なっており、ランナーの生活活動強度は少なくとも「III. やや重い」に分類されると考えられ、エネルギー所要量は2400kcal/日となる。しかし、本研究における栄養調査結果によれば、ランナーの平均エネルギー摂取量はそのエネルギー所要量の水準を下回る2086kcal/日ではなかった。今後、女性長距離ランナーについては、基礎代謝率を含めたエネルギー代謝状況についても詳細な検討が必要と思われる。蛋白質の摂取量は一般人よりジョガーが高く、ジョガーよりもランナーが高い水準であった。しかし、脂肪の摂取量については一般人よりジョガー、ランナーがやや高いものの、両トレーニンググループ間には差は認められなかった。また、脂肪エネルギー比は3グループ間で全く差がなく、いずれも30%弱であった。

表2 エネルギー源栄養素の摂取状況

| グループ | N  | 総エネルギー<br>(kcal) | 蛋白質<br>(g) | 脂肪<br>(g) | 脂肪エネ比<br>(%) |
|------|----|------------------|------------|-----------|--------------|
| 一般人  | 13 | 1764±325         | 65.3±14.2  | 57.4±16.7 | 28.9±5.0     |
| ジョガー | 6  | 2021±143         | 76.9±16.1  | 65.1±10.5 | 29.3±4.5     |
| ランナー | 10 | 2086±424         | 85.4±18.2* | 66.3±15.5 | 28.9±2.9     |

平均値±SD. \*P<0.05 vs 一般人.

表3に各グループのビタミンA、B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、C、E、及び鉄の摂取量を示した。脂溶性であるビタミンAとビタミンEはランナーが一般人、ジョガーよりも高い値であった。一般に脂溶性ビタミンの血中濃度は血中総脂質濃度と正の相関関係があることが知ら

れている。しかし、本研究で対象となったランナーの血中脂質は中性脂肪、総コレステロール濃度とも一般人、ジョガーと顕著な差が認められなかったことから、平均値でみるかぎりランナーの脂溶性ビタミンの栄養摂取状態は良好であるものと考えられる。しかし、選手個々人の摂取量をみると、ビタミンAは全員が食事から十分に摂取していたが、ビタミンEについては、ビタミンE錠剤を摂取している選手が2名おり、成人女性の目標摂取量（7mg）を下回る選手はいなかったものの、10mgに満たない選手が3名いた。ビタミンEは激しい持久性運動により酸素摂取量が増加することによって生じる活性酸素による生体成分の脂質過酸化の防御・抑制にとって重要な役割を果たしていることが近年明らかになってきたが、この点からみて本研究に参加したランナーの脂溶性ビタミン栄養摂取状態はほぼ望ましいものと考えられる。

水溶性ビタミンであるビタミンB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、Cの摂取量は平均値ではいずれも一般人よりジョガーが高く、さらにジョガーよりランナーが高い値であった。しかし、表3のランナーの水溶性ビタミンの平均値が高くなったのは、ランナーの一部にビタミン錠剤を摂取している選手がいたためであり（ビタミンB<sub>1</sub>錠剤；1名、ビタミンB<sub>2</sub>錠剤；1名、ビタミンC錠剤；2名）、ランナーと一般人との間に統計的な有意差が認められたのはビタミンCのみであった。ランナーの鉄摂取量は平均値では一般人、ジョガーよりも高い水準であったが、鉄剤を摂取している選手が1名おり、成人女性の鉄の所要量である12mgを下回る選手が3名いた。錠剤による栄養補給は安易であるが、錠剤にたよる栄養補給は食事をおろそかにすることになり、激しいトレーニングの後の楽しみを奪うことにもなりかねない。女性ランナーは体重が増えることを極端に恐れる傾向があることが指摘されており、本研究の対象となったランナーにおいても、この傾向はエネルギー摂取量が低かったことから明きらかである。今後、食事からの各種栄養素の補給にもっと注意を払う必要があるだろう。

表3 ビタミン・ミネラルの摂取状況

| グループ | N  | ビタミンA<br>(IU) | ビタミンB <sub>1</sub><br>(mg) | ビタミンB <sub>2</sub><br>(mg) | ビタミンC<br>(mg) | ビタミンE<br>(mg) | 鉄<br>(mg) |
|------|----|---------------|----------------------------|----------------------------|---------------|---------------|-----------|
| 一般人  | 13 | 2562±1016     | 0.87±0.25                  | 1.21±0.27                  | 111±32        | 8.7±2.3       | 9.5±2.5   |
| ジョガー | 6  | 3196±1366     | 1.04±0.27                  | 1.56±0.45*                 | 126±68        | 10.8±2.3      | 11.6±4.0  |
| ランナー | 10 | 6706±952#§    | 5.02±12.0                  | 3.04±3.68                  | 384±441*      | 42.3±90.6     | 13.5±4.5* |

平均値±SD. \*P<0.05. #P<0.01 vs 一般人. §P<0.01 vs ジョガー.

表4に血液生化学的にみた体内ビタミン栄養状態を示した。ランナーの脂溶性ビタミンの体内栄養状態は摂取量の多さを反映して一般人、ジョガーよりも高い水準であった。長時間にわたる持久性運動によるエネルギー消費量の増加は糖代謝を高めるので、ビタミンB<sub>1</sub>の必要量が高まる。ビタミンB<sub>1</sub>の栄養状態（TDP効果：値が小さい方が良好）はランナーが2グループに比べて良好であることが示された。ビタミンB<sub>2</sub>についてもビタミンB<sub>1</sub>と同様な傾向が認められたが、それはランナーがビタミンB群を含む錠剤を摂取しているためであろう。一方、ビタミンCはストレス関連ホルモンの代謝に関与していると考えられており、激しいトレーニングを行っているランナーはビタミンCをより多く摂取することが望ましいと考えられている。また、ビタミンCは非ヘム鉄の腸管からの吸収を促すことが知られている。鉄欠乏に陥りやすいランナーではとくに必要なビタミンである。さらに、ビタミンCは脂質過酸化の防御因子としてビタミンEとともに近年注目されているビタミンである。表4からもわかるが、ランナーの血漿中のビタミンC濃度は正常範囲とされている700  $\mu\text{g}/\text{dl}$ よりは高い値であったが、一般人よりも有意に低く、ジョガーよりも統計的には有意でないが、低い水準であった。食事調査の結果はランナーのビタミン摂取量が一般人やジョガーよりも、一部ビタミンC剤を摂取している選手を除いても高いにも拘らず、ランナーの血漿中ビタミンC濃度が一般人・ジョガーよりも低い値であったことは注目しなければならない。ここで注意しなければならないことは、ランナーでは体内ビタミン栄養状態判定のために採血を行った日と日常の栄養摂取量を求めるために実施した栄養調査との間に時間的なずれがあることである。一般人やジョガーでは、とくに日常生活活動状態が著しく変動することが少ないので、多少栄養調査期間と採血の日とちの間にずれがあってもそれほど問題がないと考えられる。しかし、ランナーについては、トレーニング期、あるいは調整期によってトレーニング強度・頻度が大きく異なるし、1週間の中でも、激しい練習をした日と休養日とでは体内栄養状態に顕著な差があることは容易に考えられる。表4に示したランナーの体内ビタミン栄養状態を示すパラメータは選手が20kmロードレースを行った翌日に採血し、測定したデータである。また、ランナーの食事調査を行った数日後の完全休養日の翌日に2度目の採血を行い、体内ビタミン栄養状態の測定・評価を行った。2度目の採血時の血漿中のビタミンC

濃度は平均1050  $\mu\text{g}/\text{dl}$ であり、1回目の値(830  $\mu\text{g}/\text{dl}$ )よりも高く、一般人と同水準であった。水溶性ビタミンは脂溶性ビタミンのように体内貯蔵がきかないので日常規則的な摂取が必要であることはすでに述べた。とくに、ビタミンCは激しいトレーニングのようなストレスによって低下することが知られているので、トレーニング期、あるいはレースの後では十分な摂取が必要と思われる。

表4 体内のビタミン栄養状態

| グループ | N  | ビタミンA<br>( $\mu\text{g}/\text{ml}$ ) | ビタミンB <sub>1</sub><br>(%) | ビタミンB <sub>2</sub><br>(%) | ビタミンC<br>( $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) | ビタミンE<br>( $\mu\text{g}/\text{ml}$ ) |
|------|----|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 一般人  | 13 | 0.46 $\pm$ 0.07                      | 20.4 $\pm$ 10.3           | 1.11 $\pm$ 0.13           | 1043 $\pm$ 155                       | 9.9 $\pm$ 1.4                        |
| ジョガー | 6  | 0.46 $\pm$ 0.10                      | 24.4 $\pm$ 7.7            | 0.98 $\pm$ 0.12           | 980 $\pm$ 178                        | 9.9 $\pm$ 1.6                        |
| ランナー | 10 | 0.61 $\pm$ 0.12* $\$$                | 10.5 $\pm$ 2.7* $\$$      | 0.90 $\pm$ 0.06*          | 830 $\pm$ 102*                       | 14.7 $\pm$ 6.4*                      |

平均 $\pm$ SD. \*P<0.05 vs 一般人,  $\$$ P<0.05 vs ジョガー

表5に鉄栄養に関するデータを示した。ヘモグロビン濃度は3グループ間に顕著な差はみられなかったが、血清鉄、総鉄結合能についてはランナーと他の2グループとの間に顕著な差を認めた。また、潜在性鉄欠乏状態の指標とされる血清フェリチン濃度は統計的には有意ではないが、一般人に比べてジョガー、ランナーが低い傾向を示した。ランナーは食事においてレバーやひじきの様な鉄を多く含む食品を積極的に摂取しているにも拘らず、フェリチンの濃度が低かった点は注目しなければならない。激しいトレーニングによる鉄の遺失が考えられる。

今後、ランナー、ジョガーの例数を増やすとともに、中高年者についても検討を加えていく予定である。

表5 体内の鉄栄養状態

| グループ | N  | Hbクリット<br>(%)  | Hb濃度<br>(g/L)  | 血清鉄<br>( $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) | 総鉄結合能<br>( $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) | フェリチン<br>(ng/ml) |
|------|----|----------------|----------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| 一般人  | 13 | 39.9 $\pm$ 2.0 | 12.8 $\pm$ 0.7 | 115 $\pm$ 45                       | 314 $\pm$ 39                         | 29.2 $\pm$ 26.6  |
| ジョガー | 6  | 40.5 $\pm$ 2.1 | 13.2 $\pm$ 0.8 | 114 $\pm$ 54                       | 325 $\pm$ 64                         | 17.7 $\pm$ 8.6   |
| ランナー | 10 | 39.1 $\pm$ 3.6 | 13.0 $\pm$ 1.4 | 69 $\pm$ 38*                       | 363 $\pm$ 28*                        | 14.3 $\pm$ 6.1   |

平均 $\pm$ SD. \*P<0.05 vs 一般人